引用格式：王昶，周思源，耿红军. 第四次工业革命背景下我国先进制造业发展路径及政策保障研究. 中国科学院院刊, 2024, 39(2): 333-344, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230223004.
Wang C, Zhou S Y, Geng H J. Development path and policy guarantee of China's advanced manufacturing industry under background of fourth industrial revolution. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(2): 333-344, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230223004. (in Chinese)

第四次工业革命背景下我国先进制造业发展路径及政策保障研究

王 昶[1] 周思源[1] 耿红军[1,2*]

1 中南大学 商学院 长沙 410083
2 深圳市科技创新战略研究和技术转移促进中心 深圳 518052

摘要 抢抓第四次工业革命开启的机会窗口，提升先进制造业国际竞争优势，成为学术研究与政策实践者关注的重要议题。文章在梳理和总结第四次工业革命的背景、特征及对先进制造业影响的基础上，分类探讨了我国数字赋能型新基建产业、智能制造型高端装备产业、品牌主导型新消费产业和科学主导型产业等4类先进制造业的发展现状与问题；针对性设计了“创新融合”“智造升级”“品质提升”和“提前卡位”创新发展路径，并提出了完善先进制造业创新体系、建立兼容互通的产业标准体系、提升先进制造业现代化水平、培育开放包容的先进制造业生态、推动先进制造业支持政策持续落实等政策建议。

关键词 第四次工业革命，先进制造业，发展路径，政策保障

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20230223004

CSTR 32128.14.CASbulletin.20230223004

制造业是立国之本、兴国之器、强国之基。先进制造业是制造业价值链高端环节，彰显国家综合国力和核心竞争力。第四次工业革命背景下，新一代信息通信技术、网络空间虚拟系统等新兴技术群体性突破，为先进制造业发展开辟了新赛道和新优势。世界各国普遍将第四次工业革命视为提升本国先进制造业国际竞争优势的机会窗口[1]。美国为保持其先进制造业全球领先地位，出台了《国家先进制造业战略》①；

*通信作者
资助项目：国家社会科学基金重大项目（23&ZD106、18ZDA061），中国博士后科学基金（2023M742424），湖南省自科基金面上项目（2022JJ30056）
修改稿收到日期：2024年1月28日

① Subcommittee on Advanced Manufacturing Committee on Technology of the National Science & Technology Council. National strategy for advanced manufacturing. (2022-10-07) [2024-01-25]. https://www.manufacturingusa.com/reports/national-strategy-advanced-manufacturing.

英国为了重振先进制造业，实施了《英国工业2050战略》②；德国为保持先进制造业的国际竞争力，制定了《工业战略2030》③。我国政府高度重视先进制造业的发展，先后出台了《中国制造2025》《“十四五”智能制造发展规划》等一系列重大战略与政策，有效地推动了我国先进制造业转型升级。

现有研究已从先进制造业的发展格局[2]、影响因素[3]、发展路径与策略[4]、发展趋势[5]、政策支撑体系[6,7]、国际合作[8]、国际经验[9]等方面进行了多维度研究，为先进制造业的发展提供了有益的参考。但现有研究普遍将先进制造业视为一个整体进行分析，在一定程度上忽略了先进制造业是涵盖多门类的综合性产业体系；然而，不同类型的先进制造业具有差异化的特征，面临不同发展痛点与瓶颈，需要特色的创新发展路径。

因此，本文在把握第四次工业革命的背景、特征及其对先进制造业影响的基础上，将先进制造业分为数字赋能型新基建产业、智能制造型高端装备产业、品牌主导型新消费产业和科学主导型产业，分类探讨了其在我国发展的现状与问题，针对性设计差异化的创新发展路径，并进一步提出政策保障措施，对我国制造强国建设具有一定参考价值。

1 第四次工业革命的背景及影响

目前，人类已经完整经历了以“机械化”“电气化”“自动化”为特征的3次工业革命。21世纪初，随着人工智能、5G通信网络等新一代信息技术的高速发展，以“智能化”为特征的第四次工业革命孕育兴起，推动社会经济体系的全方面变革（表1）。第四次工业革命带来的新理念、新技术、新模式和新业态对先进制造业的发展产生了深远的影响，总体上可归纳为网络化、智能化、个性化、服务化和绿色化5个方面。

网络化，指利用新一代信息通信技术、传感器技术等将人与物、物与物之间联结起来[10]。通过平台的方式将不同地区分散分布的人力资源、智力资源、物理设备及其他的核心能力进行集聚，这一定程度上打破了传统制造业价值链和供应链垂直整合的产业组织模式，开始向模块化、网络化组织形态转型，并带动众包研发设计、网络协同研发、协同制造等新业态的兴起。例如，以工业互联网为基础构建的云制造产业集群生态，可提供全产业链、产品全生命周期智能协同服务。

智能化，指制造业的设计、生产、管理、服务等各个环节具有智能感知、智能管控及智能决断等能力[11]。通过数字制造技术、5G通信技术、人工智能技术及机器人技术等融合应用于制造业的全产业链，最终实现智能化产品设计、智能化产品制造、智能化供应链管理。例如，我国水泥生产行业智能化转型领先企业已通过集成运用工业物联网、现代传感技术与数据分析技术等先进智能技术，建立了涵盖水泥生产全生命周期的智能制造系统，实现了集全要素协同配合、故障诊断与预警、工厂自动化运营及可视化管理等于一体的智能化过程。

个性化，指高度可重构的柔性制造系统，能够满足大批量个性化的制造需求。通过工业互联网等技

② Government Office for Science. Future of manufacturing: A new era of opportunity and challenge for the UK - summary report. (2013-10-30) [2024-01-25]. https://www. gov. uk/government/publications/future-of-manufacturing/future-of-manufacturing-a-new-era-of-opportunity-and-challenge-for-the-uk-summary-report.

③ Bundesministeriumfür Wirtschaft und Energie. Nationale Industriestrategie 2030: Strategische Leitlinien fur eine deutsche und europaische Industriepolitik. (2019-02-05) [2024-01-25]. https://www. bmwi. de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/nationale-industriestrategie.pdf? blob=publicationFile.

表1 历次工业革命的技术经济范式

Table 1 Technology economy paradigm of previous industrial revolutions

比经纬度	第一次工业革命	第二次工业革命	第三次工业革命	第四次工业革命
主要特征	机械化	电气化	自动化	智能化
发生时间	18世纪中期—19世纪中期	19世纪70年代—20世纪初	20世纪四五十年代—21世纪初	21世纪初开始
标志事件	改良的瓦特蒸汽机投入与使用	电力的发明和广泛应用	原子能、电子计算机、空间技术和生物工程的发明和应用	“工业4.0”的提出
主导技术	蒸汽机	电动机	信息技术	人工智能等新一代信息技术
新兴能源	煤炭	电力、石油、天然气	原子能、电力	清洁能源
关键原材料	铁等	钢、铝、铜等	硅、稀土等	石墨烯、锂等
制造范式	单件小批量制造	大规模生产	小批量定制	大规模定制 网络协同制造
基础设施	蒸汽机、火车;运河、铁路	汽车、飞机;铁路、高速公路、机场、港口组成的交通网络	数字远程通信网络、互联网;高铁网络、高速物流系统	5G通信、工业互联网、智能电网
商业组织	工厂	公司	跨国公司大企业	平台企业
代表产业	纺织业、蒸汽火车、轮船	汽车、石油化工业、电话	计算机、互联网、微电子产业	智能网联汽车、智能装备
影响效应	进入蒸汽时代	进入电气时代	进入信息时代	进入智能时代

术，构建柔性制造单元、数字化车间和数字化工厂等新模式，提升制造业生产系统的柔性化程度，实现制造企业的大批量个性化定制。例如，我国服装行业个性化智能定制企业已经探索出了一条服装大规模个性化定制的发展路径，消费者可以在手机应用程序（APP）上提出个性化需求，直接联接智能工厂进行生产。

服务化，指通过利用数字化等技术，推动制造业与服务业深度融合。通过对制造业价值链各环节的信息化改造，实现“产品+服务”的商业模式，推动制造业沿着价值链环节攀升。例如，我国风电设备制造领先企业正在进行服务化转型，已探索构建了智能化大型风电场运维服务系统，为客户提供风电机组设备的远程智能监控、运行维护、诊断及预警等服务。

绿色化，其内涵包括能源结构变革和资源循环利用2个方面。① 第四次工业革命推动风电、光伏等清洁能源技术的创新突破，为制造业绿色化转型提供能源基础。② 数字技术催生互联网平台，加强了生产企业、消费者、物流企业之间的联系，为资源循环、价值流转提供渠道，增强产品全生命周期管理能力，助推了制造业的绿色转型。例如，我国电子产品“互联网+回收”企业通过与制造品牌商、电商、再制造商及第三方物流机构的深入合作，围绕电子消费产品生产、消费、回收与再制造等全产业链环节构建绿色商业生态系统，实现电子产品的绿色循环利用。

2 第四次工业革命背景下我国先进制造业发展的现状与问题

根据技术与市场特征，先进制造业可分为数字赋能型新基建产业、智能制造型高端装备产业、品牌主导型新消费产业和科学主导型产业四大类，具有各自的发展现状及问题（表2）。

数字赋能型新基建产业，指对制造业具有带动性的先导型基础产业[12]。代表性产业有5G通信、工业软

表2 我国先进制造业的分类

Table 2 Classification of China's advanced manufacturing industry

主要维度	数字赋能型新基建产业	智能制造型高端装备产业	品牌主导型新消费产业	科学主导型产业
概念内涵	对制造业具有带动作用的先导型基础产业	具有感知、分析、推理、决策和控制功能的装备产业	满足人们美好生活需要的消费品制造产业	主要依靠重大科学理论的突破所带来的原理、技术路线和技术平台的重大变化的产业
产业特征	产业带动性强	技术复杂性高	个性化程度高	技术不确定性高、商业化不确定性高
代表产业	5G通信、工业软件等	高铁、大飞机、工程机械等	智能终端、个性化定制服装等	生物医药、前沿新材料等
存在问题	参差不齐	大而不强	品牌弱势	原创乏力
路径设计	创新融合	智造升级	品质提升	提前卡位

件等。数字赋能型新基建产业为产业跨界融合提供了平台和接口，具有产业带动性强的典型特征。目前，我国数字赋能型新基建产业在规模和质量上已经具有先发优势，据Gartner统计，以市场占有率计算，全球市场份额前10位的云计算供应商，我国供应商占3家。然而，我国数字赋能型新基建产业面临关键核心技术供给"参差不齐"的问题。例如，我国工业软件产业整体发展呈现"管理软件强、工程软件弱，低端软件多、高端软件少"的不均衡格局。其中，研发设计类工业软件的短板突出，计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助工程（CAE）领域的工业软件国产化率只有5%，电子设计自动化（EDA）领域的工业软件国产化率不到5%[13]。究其原因：① 数字赋能型新基建的关键核心技术研发过程复杂度高、技术门槛高、研发周期长，我国相关研发人才在数量和质量上短缺，导致技术创新能力不足。以计算机辅助工程（CAE）为例，美国工业软件的龙头公司年均研发投入为3.5亿美元，研发强度达19.7%，约是我国同类型工业软件研发投入的10倍。② 国内尚未形成良好的应用生态。数字赋能型新基建产业关键核心技术多具有高知识缄默性与积累性，需在应用中不断试错和积累来寻求发展和突破；但是，我国的应用商由于受品牌效应影响和使用惯性，对国产产品的应用意愿不足。

智能制造型高端装备产业，指具有感知、分析、推断、决策和管控功能的装备产业。该类产业具有技术复杂性高的特点；代表性产业有高铁、大飞机、工程机械等。以大飞机为例，其由数以百万计的独立部件构成，需要遍布全球的上百家供应商的联合供给[14]。虽然，我国智能制造型高端装备产业全产业链规模优势突出、区域化产业集群效应初步显现，但是却存在"大而不强"问题。例如，我国已是数控机床的最大的消费和生产国，但全球营收规模排名前10位的重点数控机床制造商仍然是日本、德国、美国企业，高端产品仍然要依赖进口。究其原因：① 多主体协同较差。智能制造型高端装备制造业是复杂系统，具有极高的生态依赖性，但各主体的利益诉求不同，容易产生要素缺、交互缺失及边界错位等系统失灵问题，不利于全产业链协同发展。② 国产化替代意愿不足。由于产业链上下游信息不对称、国产劣势刻板印象显著、转换成本高、风险大等原因，引发了"不愿用""不敢用""不好用"等突出问题，阻碍了国产高端装备的快速发展[15]。③ 国外领先主机厂商的围堵与打压。国外领先主机厂商基于自身的利益诉求，通过降价、游说关键零部件企业断供等策略对国内主机厂商产品进行打压。

品牌主导型新消费产业，指满足人们美好生活需要的消费品产业。该类产业具有个性化程度高的特征；代表性产业有智能终端、个性化定制服装等。以

服装制鞋产业为例，其产品具有多尺寸、多颜色、多款式及多功能要求的特点。我国品牌主导型新消费产业区域特色产业集聚发展态势明显，已形成上海时尚消费品、深圳新能源汽车、青岛智能家电、呼和浩特乳制品等具有地区特色的产业集群；我国在智能终端、新能源汽车、快消费品等细分行业领域优势突出。然而，我国品牌主导型新消费产业发展面临国产“品牌弱势”。例如，我国的化妆品市场规模前20位的企业中，外资企业占比达80%。又如，2022年，我国珠宝行业贸易逆差高达736亿美元。究其原因：① 我国的技术创新能力较为薄弱。例如，美妆行业，近10年间我国只有4个化妆品新原料获批上市。② 我国在时尚设计、潮流趋势等方面处于追随地位。我国企业主要赚取加工制造费用，通过创意设计、文化输出等方式增强品牌溢价的能力较弱。③ 设计、管理等专业人才严重不足。例如，我国珠宝首饰行业从业人员中受过正规培训的仅占1%。④ 品牌劣势的刻板印象仍未得到彻底改善。尽管我国新能源汽车、智能手机的技术能力已经位居全球第一梯队，但受制于中国制造等同于低品质产品的刻板印象，部分国家仍旧没有给予与我国技术能力地位相对等的市场声誉。

科学主导型产业，指主要依靠重大科学理论的突破所带来的原理、技术路线和技术平台重大变化的产业[16,17]。该类产业最能代表一个国家或者地区的基础研究能力，具有技术研发和商业化不确定性高的特征；代表性产业有生物制药、类脑智能、前沿新材料产业等。以新材料产业为例，新材料技术平均研发时间是软件技术的7倍，新材料商业化开销是软件技术商业化的50倍[18]。我国科学主导型产业研发投入不断增加，整体科研实力快速提升，国产化替代成果显著，产业链逐渐向中高端攀升。例如，在石墨烯材料领域，我国石墨烯专利占全球专利申请总量的68%，稳居世界第一。然而，我国科学主导型产业仍面临“原创乏力”问题。例如，我国前沿新材料创新是全球第二梯队[19]，处于追赶阶段；生物医药研发产品数量和全球首发上市新药数量对全球的贡献率分别为13.9%和6.0%，与美国的49.3%和67.6%相比具有较大差距④。究其原因：① 我国研发投入较低。以生物医药产业为例，美国等国家对生物医药产业研发投入额比重是我国的5—14倍[20]。② 缺乏成果转化的渠道、高效的技术市场中介和高水平的技术经纪人队伍。现在我国技术经纪人队伍的培育尚处起步阶段，中介人员平均素质较低，尚不完全具备服务科技成果转化的能力。③ 支持长周期创新的耐心资本较少。国际投融资平台PitchBook的数据显示，2016—2020年，美国生物医药产业获得支持基础研究成果转化及概念期项目孵化的种子轮和天使轮项目融资约为我国的10倍[21]。

3 先进制造业发展路径设计

第四次工业革命背景下，我国先进制造业应立足现有产业基础和发展趋势，聚焦制造强国总目标，以推动高水平科技自立自强，实现高质量发展为主线，以突破“卡脖子”关键核心技术、实现产业链自主可控、提升品牌国际竞争力、增强原始创新能力为重点，实施数字赋能型新基建产业“创新融合”、智能制造型高端装备制造业“智造升级”、品牌主导型新消费产业“品质提升”和科学主导型产业“提前卡位”等特色创新发展路径。

3.1 数字赋能型新基建产业“创新融合”路径设计

针对我国数字赋能型新基建产业“参差不齐”问题，结合数字赋能型新基建产业带动性强的特征，设

④ 中国医药创新促进会与中国外商投资企业协会药品研制和开发行业委员会. 构建中国医药创新生态系统——系列研究报告第一篇：2015—2020年发展回顾及未来展望. (2021-06-21) [2024-01-25]. https://max. book118. com/html/2021/0621/5144302242003244.shtm.

计以“创新融合”为特色的发展路径，以推动关键核心技术创新突破和融合应用，引领新基建产业发展方向。

（1）推动数字赋能型新基建产业关键核心技术创新突破。① 加强关键核心技术创新体系建设。强化企业创新主体作用，培育数字化科技领军企业；鼓励数字化科技领军企业、平台型企业面向智能传感器、工业芯片与智能模块等短板领域，结合数字经济未来应用需求和前沿性技术重点方向，加强原创性引领性科技攻关。② 围绕源头创新，强化国家战略科技力量。加快实施一批具有战略性、全局性、前瞻性的国家重大科技项目，加快谋划布局标志性重大科技基础设施，加快推动跨学科、大协同的基础研究及应用基础研究实现重大突破，提高数字赋能型新基建产业现代化水平。③ 发挥超大规模市场优势。加强开源社区建设，推动工业软件、操作系统等加速国产化，形成市场驱动的自主芯片产业生态，为5G通信、云计算、工业互联网等底层技术标准和技术路线的竞争提供生态支撑。

（2）深化数字赋能型新基建产业的融合应用。① 构建以融合应用为导向的创新研发机制。鼓励高校、科研院所以技术应用场景和企业实际需求为导向，与企业建立风险共担、协同开发、成果共享的产学研用一体的合作机制。② 发挥融合基础设施建设数字赋能作用。深度应用5G通信、人工智能、软件等技术，支撑钢铁、采矿等领域的传统基础设施转型升级。③ 加速多行业场景应用落地和推广。面向规模化、特色化的融合发展目标，开展多场景应用推广工程，深化数字赋能型新基建产业在食品生产、资源加工、机械制造等传统制造业领域的有机融合，推动有条件的行业开展规模化应用试点。④ 加强标准体系的顶层设计。打造融合应用标准体系，重点推进工业互联网标识解析体系、边缘计算、数据规范体系，以及工业软件等基础共性标准的建设进程。⑤ 着力推进商业化应用进程。鼓励大型集团裂变式创业、学术型创业等创新创业新业态，推动数字赋能型新基建产业新兴技术商业化应用。

3.2 智能制造型高端装备产业“智造升级”路径设计

针对我国智能制造型高端装备制造产业“大而不强”的问题，结合智能制造型高端装备制造产业技术复杂性高的特征，设计“智造升级”特色发展路径，促进全产业链技术创新和产业转型升级，推动高端装备国产替代。

（1）加强全产业链技术创新。① 探索关键核心技术攻关新型举国体制。实施产业基础再造工程和高端装备攻关工程，推动集成电路、关键元器件、工业母机等高端装备关键核心技术创新突破。鼓励高端装备产业链“链主”企业联合关键零部件等配套企业及科研院所组建创新联合体，针对产业链环节“卡脖子”技术展开联合攻关，坚决打赢关键核心技术攻坚战，提升全产业链自主可控水平。② 强化企业科技创新主体地位。健全“科技型中小微企业—科技型骨干企业—科技领军企业—世界一流企业”企业技术能力梯度培育体系及动力机制；通过鼓励整机企业与关键部件企业等协同研发、生态主导型企业率先示范应用、国有企业主动开放供应链等方式，提升高端装备国产化率；支持整机企业与产业链上下游企业建立长期战略合作关系，发挥全产业链优势和超大规模市场优势应对国外领先企业的打压与遏制。

（2）促进智能制造高端装备产业转型升级。① 推动传统装备制造业数字化转型。以“数字化改造”和“要素升级”为抓手，持续加大企业技术升级力度，推动数字化车间、智能工厂建设，提升信息化和智能化应用的广度和深度。② 促进智能制造高端装备产业服务化转型。利用工业互联网、云计算等新一代信息技术，推进高端装备制造业与现代服务业深度融合发展；通过“智能+装备”和“产品+服务”的模式创新，

培育总集成总承包、产品生命周期管理、服务衍生制造、供应链运营管理等新模式与新业态；探索智能制造装备、海工装备、航空航天装备等重点高端装备产业领域与现代生产性服务业融合发展新路径。③ 推动高端装备制造业价值链升级。围绕高端装备制造共性服务需求，鼓励整机制造企业将生产性服务进行市场化运作，为产业链上下游企业提供创业孵化、研发设计、检验测试等专业性服务。④ 推动高端装备绿色化转型。实施重点行业节能降碳工程，支持企业使用新能源替代传统能源；开展低碳、零碳、负碳等先进适用技术研发和推广应用，大力发展再制造与循环利用产业，以提升资源利用效率。

3.3 品牌主导型新消费产业“品质提升”路径设计

针对我国品牌主导型新消费产业“品牌弱势”的问题，结合品牌主导型产业个性化程度高的特征，设计“品质提升”特色发展路径，推动产业提质增效和提升产业国际竞争力，引领品牌主导型新消费产业发展趋势。

（1）推动品牌主导型新消费产业提质增效。① 推动品牌主导型消费产业数字化转型。支持国有企业、数字化平台企业加大数字化公共基础设施建设，发挥数字化平台企业的纽带作用，带动新消费中小企业数字化转型；打造设计、研发、运维管控以及远程服务等数字化应用场景，提升产业的现代化管理水平、安全生产保障能力和资源配置效率。② 提高品牌主导型新消费产业技术创新能力。综合运用税收优惠、研发补贴等政策，促进服装、珠宝等传统产业的产品开发、创意设计、产品包装创新，增强智能手机、智能汽车等新兴产业研发投入力度。③ 积极发展智能物流系统。发展第三方物流，促使制造业企业整合、分离、外包物流业务，降低制造业运行的流通成本，提高流通效率，增强品牌主导型新消费企业的市场反应能力。④ 鼓励高校、科研院所校开创与品牌主导型新消费产业相关的专业学科。支持高校、科研院所联合头部企业，通过共建实训基地、共建专业课程、共建师资队伍等方式，培育既懂得品牌主导型新消费产业前沿趋势又具备行业实践经验的优秀企业家与复合型人才。

（2）提升品牌主导型新消费产业国际竞争力。① 实施品牌主导型新型消费产业国际化战略。鼓励企业主动参与共建“一带一路”，通过自建营销网络、跨境电商平台，以及并购国外营销网络等方式，构建具有影响力、控制力的现代国际网络营销体系。② 推动生产加工企业向研发、设计等价值链高端环节延伸。支持企业运用大数据技术预测时尚与潮流趋势，将区域文化、价值符号纳入产品研发设计，打造“爆款”产品，提升价值增值能力。③ 提升知名品牌国际影响力。鼓励行业协会、商会等机构组织跨国企业、头部企业在国际上宣传中国品牌，讲好中国产品故事，彻底改变中国品牌劣势的刻板印象。④ 增强国际趋势引领能力。支持品牌主导型新消费产业龙头企业、行业协会、专业院校主导或参与国际标准的制定、主办行业国际大会、推广先进技术手段和现代质量管理理念与方法等，引领品牌主导型新消费产业发展趋势。

3.4 科学主导型产业“提前卡位”路径设计

针对我国科学主导型产业“原创乏力”的问题，结合科学主导型产业技术不确定性高、商业化不确定性高的特征，设计“提前卡位”的特色发展路径，坚持多条技术路线并行布局与提升原始创新能力，开辟新赛道新优势。

（1）坚持多条技术路线并行布局。① 建立科学主导型产业技术动态跟踪和监测机制。及时洞察科学主导性产业中的颠覆性技术与前沿技术发展趋势和市场机会，采取“全面布局，重点突破”的策略，在关键核心技术、技术设备、制造工艺等方面进行提前积累，开辟发展新领域、新赛道，塑造发展新动能、新优势。② 推动科技计划体制机制改革。借鉴美国国防

高级研究计划局（DARPA）对颠覆性技术及前沿技术的管理体制，对多条技术路线采取“平行资助、动态退出”的资助策略。③ 建立具有弹性的包容审慎监管制度。为颠覆性技术、前沿技术提供试错空间。④ 加强不同技术路线新应用场景的设计与开发。根据不同技术路线的复杂程度、性能特点、适用范围等因素，选择特定的细分市场进行商业化应用，加快前沿技术的市场化应用进程。⑤ 加强应用标准建设。通过构建创新联盟、技术授权等手段，将我国具有优势地位的技术路线的相关标准，建设成国际标准，提升我国科学主导型产业全球影响力。

（2）提升科学主导型产业原始创新能力。① 开展有组织的科研，集聚创新资源，提升科学主导型产业基础研究能力。按照全球科技创新中心、国家科技创新中心和区域科技创新中心三级体系统筹布局我国区域创新体系；结合各区域在生物医药、新材料、量子计算等科学主导型产业的现实基础及国家战略布局，优化各区域的国家科研机构、国家实验室、创新平台、大科学装置的战略布局；支持各区域针对重点领域的科学主导型产业领域的颠覆性技术、前沿技术基础科学知识、产业共性技术开展研究，提升科技基础能力。② 构建开放型技术创新体系。稳步扩大规则、规制、管理、标准等制度型开放，稳定开放预期，吸引科学主导型产业领域的大型跨国企业、研发机构及检测中心与本地建立长效合作机制；鼓励本国龙头企业与大型研发中心主动嵌入全球创新网络，合理配置国际、国内两种创新资源，提升原始创新能力。③ 利用数字化技术赋能科学主导型产业。将材料基因组计划、数字孪生等数字化技术运用到科学主导型产业技术的研发、测试及应用等各个环节，以提高科学主导型产业技术的研发和应用效率。④ 发挥政府产业基金引导作用。引导风险基金投向基础研究领域，对于产业资本让渡更多的投资收益。⑤ 鼓励科研院所与企业共建概念验证中心、中小试基地等科技成果转化平台建设。打通科学研究到产业化应用通道，提升科学主导型产业科技成果转化能力。⑥ 加强科研人才队伍建设。实施更加积极有效的人才政策，增强对国际战略科学家、一流科技领军人才、优秀企业家等重点人才的吸引力，深化人才发展体制机制改革，改革人才评价体系，提高基础研究人才队伍的实力和活力。

4 我国先进制造业发展的政策及保障措施相关建议

（1）完善先进制造业创新体系。① 完善产学研多主体参与的创新网络。完善以企业为主体、市场为导向、产学研深度结合融合的协同创新体系，鼓励产业链上下游企业、高校、科研院所及金融机构组建创新联合体。② 加强先进制造业产业集群建设。加强促进机构建设，完善先进制造业产业集群公共服务体系，促进集群内要素和信息的交流共享，建立集群成员横向和纵向密切合作的协同创新网络。③ 探索完善区域产业协作网络。鼓励地理位置相近、先进制造业产业互补的区域制定区域创新合作政策，建立区域成果共享机制与区域创新发展协调机制，推动生产要素与创新要素自由便捷流动。④ 嵌入国际科技创新合作网络。积极融入全球创新网络，扩大先进制造业高水平合作开放程度；支持制造业龙头骨干企业通过项目合作、人才引进等形式吸引全球创新资源、先进生产要素以及高精尖产业项目。

（2）建立兼容互通的产业标准体系。① 完善产业标准体系顶层建设。按照“实用化、行业化、国际化”的原则，加快建立涵盖纵向（终端、网络、平台）和横向（技术、测试、规划、建设、运维）各环节的标准体系，促进国家标准、行业标准、地方标准和团体标准的协调发展。② 构建兼顾通用场景和特定场景的产业技术标准。在深入总结典型应用场景的基础上，构建统筹兼顾通用场景和特定场景技术需求的技术标准体系，促进先进制造业领域的智能化转型和

融合发展。③ 推动我国主导的国际标准编制。立足典型的场景应用需求，加快我国在设计要求、设备采购技术规范、安全要求施工规范等重点急需技术标准的制定，支持和鼓励国内相关机构积极参与国际标准化组织（ISO）、国际电工委员会（IEC）、国际电信联盟（ITU）等国际权威标准化组织的标准制定，推动技术就绪度高的国家标准与国际标准同步发展。

（3）提升先进制造业现代化水平。① 深入实施制造强国战略。推动新一代信息技术与制造业深度融合，加大对传统制造业技术改造支持力度，抢先布局新兴产业与未来产业，鼓励制造业企业发展新技术、新模式、新业态，推动制造业高端化、智能化、绿色化发展。② 加强关键“卡脖子”技术的研发攻关。提高关键核心技术领域的国产化替代程度，在前沿技术“空白”领域适当超前布局，以抢先形成先发优势。③ 推动稳链、补链、固链、强链。促进“链主”企业“织链造网”，构建我国企业主导的全球价值链；加强主配协同和产业链协作配套，推动专精特新“小巨人”融入行业龙头企业供应链、创新链，建立自主可控的产业链、供应链。④ 优化制造业空间布局。明晰各区域的比较优势与劣势、区域间互补合作的重点，确定各区域推动先进制造业高质量发展的具体目标、重点任务、政策措施等，推动区域间优势互补、错位发展。

（4）培育开放包容的先进制造业生态环境。① 持续培育各类先进制造业主体。完善先进制造业企业梯度培育体系，健全先进制造业企业做大做强的动力机制。加大对行业协会、事务所、公证机构、检验检测、创业孵化、技术转移转化等服务组织的政策支持力度，引导其为先进制造业企业提供优质的第三方服务。② 引导各类生产和创新要素向先进制造业集聚。加大先进制造业减税力度，持续降低先进制造业制度成本、资金成本、土地成本等各类成本，鼓励制造业企业培育新模式、新业态，提升制造业利润率。加速推进制度型开放，增强国内、国际两个市场、两种资源联动效应，提升资源供应保障能力。③ 营造先进制造业高质量发展的社会氛围。塑造制造业文化，倡导工匠精神；鼓励高校开设先进制造业相关科课，支持科研院所联合龙头企业建立实习基地，为制造业培育科学家、企业家、工匠人才、技能型人才等。

（5）推动先进制造业支持政策持续落实。① 推动供给型政策的持续落实。确保高新技术企业所得税减免、企业研发费用加计扣除等税收优惠政策应享尽享，进一步提高企业研发费用税前加计扣除比例和奖补水平，实施科技型中小企业研发费用后补助；支持企业设立研发机构、加大研发投入，提升企业及研发机构发明专利质量。② 完善先进制造业关键领域需求型政策。针对数字赋能型新基建产业、智能制造型高端装备产业、科学主导型产业中的前沿技术领域及“卡脖子”领域，通过完善国产设备的首台（套）、首批次应用保险和补贴政策，扩大政府采购力度，以及推动关键核心产品出口等举措，创建技术升级所需的利基市场。③ 持续实施环境优化政策。加快高标准市场体系建设，完善产权保护、市场准入、公平竞争等制度。充分发挥市场在资源配置中的决定性作用，更好地发挥政府作用；对标国际营商环境评价体系，深入推进“放管服”改革；依托数字政府大平台、大数据、大服务优势有效降低制度性交易成本，激发市场主体活力和创造力。

参考文献

1 樊鹏. 第四次工业革命带给世界的深刻变革. 人民论坛, 2021, (S1): 41-45.

Fan P. The profound changes brought by the fourth industrial revolution to the world. People’s Tribune, 2021, (S1): 41-45. (in Chinese)

2 李平, 李晓华. 中国制造业发展的成就、经验与问题研究. 中国工程科学, 2015, 17(7): 41-48.

Li P, Li X H. Study on achievements, experiences and problems of manufacturing development in China. Engineering Sciences, 2015, 17(7): 41-48. (in Chinese)

3 干勇, 谢曼, 廉海强, 等. 先进制造业集群现代科技支撑体系建设研究. 中国工程科学, 2022, 24(2): 22-28.

Gan Y, Xie M, Lian H Q, et al. Construction of modern science and technology support system for advanced manufacturing clusters. Strategic Study of CAE, 2022, 24(2): 22-28. (in Chinese)

4 胡鞍钢, 刘生龙, 任皓. 中国如何成为世界科技创新强国(2015—2050). 中国科学院院刊, 2017, 32(5): 474-482.

Hu A G, Liu S L, Ren H. How does China become world sci-tech innovation power (2015 – 2050). Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2017, 32(5): 474-482. (in Chinese)

5 穆荣平, 郭京京, 康瑾, 等. 制造业开放创新趋势、问题和政策建议. 中国科学院院刊, 2022, 37(7): 954-966.

Mu R P, Guo J J, Kang J, et al. Open innovation trends, issues and policy suggestions in manufacturing industry. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(7): 954-966. (in Chinese)

6 杨青峰, 任锦鸾. 制造范式的演进规律与发展新制造的政策建议. 中国科学院院刊, 2019, 34(12): 1421-1430.

Yang Q F, Ren J L. Evolution law of manufacturing paradigm and policy suggestions for developing new manufacturing. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(12): 1421-1430. (in Chinese)

7 江飞涛. 实施中国制造强国战略的政策体系研究. 中国工程科学, 2015, 17(7): 49-53.

Jiang F T. The policy system for implementing the strategy of Chinese manufacturing power. Engineering Sciences, 2015, 17(7): 49-53. (in Chinese)

8 潘云鹤, 刘曦卉, 明新国, 等. 中国制造业"一带一路"国际合作的机遇与挑战研究. 中国工程科学, 2019, 21(4): 7-13.

Pan Y H, Liu X H, Ming X G, et al. Opportunities and challenges for international cooperation of China's manufacturing industry under the Belt and Road Initiative. Engineering Sciences, 2019, 21(4): 7-13. (in Chinese)

9 赵璐, 宋大伟, 张凤, 等. 欧盟"工业5.0"对我国制造业高质量发展的影响与启示——基于智库双螺旋法的应用探索研究. 中国科学院院刊, 2022, 37(6): 756-764.

Zhao L, Song D W, Zhang F, et al. Impact and enlightenment of EU's "Industry 5.0" to high-quality development of China's manufacturing—Research on application of Think Tank Double Helix Methodology. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(6): 756-764. (in Chinese)

10 Bryner M. Smart manufacturing: The next revolution. Chemical Engineering Progress, 2012, 108(10): 4-12.

11 谭建荣, 刘达新, 刘振宇, 等. 从数字制造到智能制造的关键技术途径研究. 中国工程科学, 2017, 19(3): 39-44.

Tan J R, Liu D X, Liu Z Y, et al. Research on key technical approaches for the transition from digital manufacturing to intelligent manufacturing. Strategic Study of CAE, 2017, 19 (3): 39-44. (in Chinese)

12 高柯夫, 孙宏彬, 王楠, 等. "互联网+"智能交通发展战略研究. 中国工程科学, 2020, 22(4): 101-105.

Gao K F, Sun H B, Wang N, et al. Development strategy of Internet plus intelligent transportation. Strategic Study of CAE, 2020, 22(4): 101-105. (in Chinese)

13 周雄伟, 肖咏龙, 杨鑫浩. 工业软件国产化替代创新突破路径与激励机制. 科技导报, 2023, 41(6): 34-46.

Zhou X W, Xiao Y L, Yang X H. Industrial software innovation breakthrough path and incentive mechanism for domestic replacement. Science & Technology Review, 2023, 41(6): 34-46. (in Chinese)

14 张亚豪, 李晓华. 复杂产品系统产业全球价值链的升级路径: 以大飞机产业为例. 改革, 2018, (5): 76-86.

Zhang Y H, Li X H. Upgrading path of complex product system industry in global value chain: Taking big airplane industry as an example. Reform, 2018, (5): 76-86. (in Chinese)

15 王昶, 何琪, 周依芳. 高端装备国产化替代应用的主要障碍与突破路径. 科技导报, 2023, 41(6): 13-20.

Wang C, He Q, Zhou Y F. Main obstacle and breakthrough path of domestic substitution and application of high-end equipment. Science & Technology Review, 2023, 41(6): 13-20. (in Chinese)

16 Pavitt K. The social shaping of the national science base. Research Policy, 27(8): 793-805.

17 朱卫杰, 鲁若愚, 李天柱. 基于科学的产业: 一种新的量化甄别范式. 科学学研究, 2023, 41(9): 1552-1562.

Zhu W J, Lu R Y, Li T Z. Science-based industries: A new paradigm for quantitative screening. Studies in Science of Science, 2023, 41(9): 1552-1562. (in Chinese)

18 Maine E, Seegopaul P. Accelerating advanced-materials commercialization. Nature Materials, 2016, 15(5): 487-491.

19 刘雪峰, 刘昌胜, 谢建新. 提升前沿新材料产业基础能力战略研究. 中国工程科学, 2022, 24(2): 29-37.

Liu X F, Liu C S, Xie J X. Strategy for promoting the basic capabilities of frontier new materials industry. Strategic Study of CAE, 2022, 24(2): 29-37. (in Chinese)

20 高萍. 中美生物医药产业创新情况对比及对策分析. 产业创新研究, 2022, (20): 43-45.

Gao P. Comparison and countermeasure analysis of biomedical industry innovation between China and the United States. Industrial Innovation, 2022, (20): 43-45. (in Chinese)

21 王楠, 王国强. 新竞争格局下中美生物医药创新对比研究. 中国软科学, 2023, (1): 22-31.

Wang N, Wang G Q. Comparative analysis on the biopharmaceutical innovation of China and United State in a new era of China-US competition. China Soft Science. 2023, (1): 22-31. (in Chinese)

Development path and policy guarantee of China's advanced manufacturing industry under background of fourth industrial revolution

WANG Chang[1] ZHOU Siyuan[1] GENG Hongjun[1,2*]

（1 Business School, Central South University, Changsha 410083, China;

2 Shenzhen Science and Technology Innovation Strategy Research and Technology Transfer Promotion Center, Shenzhen 518052, China）

Abstract How to seize the opportunity window opened by the fourth industrial revolution and enhance the international competitive advantage of advanced manufacturing has become an important issue concerned by existing research and policy practitioners. This study analyzes the background, characteristics, and influence of the fourth industrial revolution on the development of advanced manufacturing industry. Based on this, it discusses the development status and problems of four types of advanced manufacturing industries, including digitally empowered new infrastructure industries, intelligent manufacturing high-end equipment industries, brand-oriented new consumption industries, and science-based industries. The development paths of “fusion innovation”, “intelligent manufacturing upgrade”, “quality improvement”, and “seize the initiative” are designed. Finally, it is proposed to improve the innovation system for advanced manufacturing, establish a compatible and interoperable industrial standard system, modernize advanced manufacturing, cultivate an open and inclusive industrial application ecology, and promote the continuous implementation of supporting policies for advanced manufacturing.

Keywords fourth industrial revolution, advanced manufacturing industries, development path, policy guarantee

王 昶 中南大学商学院教授、博士生导师。研究方向为创新战略与政策及资源战略与政策。E-mail: changw1000@163.com

WANG Chang Ph.D. in management, Professor, Doctoral Supervisor at Business School, Central South University. His research focuses on innovation strategy & policy, and resource strategy & policy. E-mail: changw1000@163.com

耿红军 深圳市科技创新战略研究和技术转移促进中心博士后。研究方向:科技政策与创新管理。
E-mail: 869167106@qq.com

GENG Hongjun Ph.D. in management, Postdoctoral Fellow, Shenzhen Science and Technology Innovation Strategy Research and Technology Transfer Promotion Center. His research focuses on science & technology policy and innovation management.
E-mail: 869167106@qq.com

■责任编辑：岳凌生

*Corresponding author